



Aurinkoenergiakeräimen tutkimusympäristö

Santeri Salminen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka ja
älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan ja älykkäiden koneneiden suuntautumisvaihtoehto

SALMINEN, SANTERI:
Aurinkoenergiakeräimen tutkimusympäristö

Opinnäytetyö 34 sivua, josta liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2014

Aurinkoenergian hyödyntäminen on tulossa ajankohtaiseksi suomessa, sillä järjestelmien hinnat ovat pudonneet ja järjestelmän hankkiminen alkaa olla taloudellisesti kannattavaa. Tampereen aikuiskoulutuskeskus tilasi opinnäytetyönä suunnitelman aurinkoenergiakeräimen tutkimusympäristöstä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia paneelien toimintaan ja energiantuottoon vaikuttavia asioita.

Opinnäytetyön tuloksena suunniteltiin järjestelmä, joka soveltuu sähköisen aurinkoenergian tutkimiseen. Järjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, verkkoinvertteri ja pyranometri. Suunnitelman perusteella tilataan sopivat laitteet, jotka tullaan asentamaan, kun niille suunniteltu masto on valmis.

Aurinkopaneelien toimintaa tutkittiin Tampereen ammattikorkeakoulun sähkötekniikan laboratoriossa. Mittausten tuloksia voidaan verrata suunniteltuun järjestelmään.

Tilattua laitteistoa voidaan kehittää esimerkiksi rakentamalla aurinkoa seuraava teline aurinkopaneeleille. Järjestelmän tehoa kasvattamalla voidaan hankkia yksivaiheisen invertterin tilalle tai rinnalle kolmivaiheinen invertteri.

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkopaneeli.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical engineering
Option of Electrical Power Engineering

SALMINEN, SANTERI:
Measurement of a Photovoltaic System

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 1 page
May 2014

Photovoltaic solar energy market is starting to reach Finland. Prices of PV systems have decreased to a level that savings made by installing the system are higher than installing costs. Tampere Adult Education Centre ordered a design of PV system. The aim of the project was to survey solar panels and collect data that is relevant to power production with solar panels.

The purpose of this thesis was to design a system that is able to measure and produce photovoltaic energy. Main components of this system are solar panels, solar inverter and pyranometer. These components were ordered and will be installed when mechanical design of a mast is completed and it is manufactured.

Solar panels were tested at Tampere University of Applied Sciences. The results of tests can be applied to the designed system. The designed system can be upgraded by adding a sun tracing possibility to the mast. The system can also be upgraded by adding more panels and purchasing a three phase inverter.

Key words: solar energy, photovoltaic energy, solar panel.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKOENERGIA	7
2.1	Aurinkopaneelin energiantuotto.....	7
2.1.1	Aurinkokennon toiminta	7
2.1.2	Aurinkopaneelin tuotto.....	8
2.2	Pyranometri.....	10
3	Pientuottajaa koskevaa lainsäädäntöä ja suosituksia.....	12
3.1.1	Sähköntuotantoa koskevaa lainsäädäntöä	12
3.1.2	Mikrotuotannon verkostosuositus	13
4	Aurinkosähköjärjestelmät.....	15
4.1	Verkkoon kytketty järjestelmä.....	15
4.1.1	Invertteri.....	16
4.1.2	Järjestelmän osat	17
4.1.3	Rinnalle kytketty varavoima	18
4.2	Verkkoonkytkemätön enrgiavarastollinen järjestelmä	18
5	Järjestelmän hankinta	20
5.1	Aurinkopaneelin valinta.....	20
5.2	Invertterin ja lisälaitteiden valinta	21
6	Mittaukset.....	22
6.1	Mittauslaitteisto.....	22
6.2	Tyhjäkäyntijännitteen tuotto	24
6.2.1	Lämpötilan vaikutus tyhjäkäyntijännitteeseen.....	24
6.2.2	Paneelien varjostuksen vaikutus tyhjäkäyntijännitteeseen.....	26
6.2.3	Etäisyyden vaikutus tyhjäkäyntijännitteeseen.....	27
6.3	Paneelien toiminta akkuja ladattaessa.....	28
6.4	Paneelien toiminta kuormittaessa	30
6.5	Mittausten tulokset.....	31
7	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET	34
	Liite 1. Tarjouspyynnön tekniset vaatimukset.....	34

LYHENTEET JA TERMIT

Aurinkopaneeli	Aurinkokennoista rakennettu isompi laite, jolla muutetaan säteilyä sähköksi
MPP	Maksimitehopiste
MPPT	Maksimitehopisteen seuranta
PV	Aurinkosähkö, joka otetaan talteen puolijohteista valmistetulla kennolla (engl. Photovoltaic)
Loss of Mains	Tilanne, jossa sähköverkosta katoaa jännite
STC	Aurinkokennon standardi testi olosuhde (engl. Standad Test Condition)
SMA	Laitevalmistaja, joka valmistaa muun muassa aurinkoinvertterejä

1 JOHDANTO

Sähköistä aurinkoenergiaa asennettiin vuonna 2012 31,1 GW ympäri maailmaa ja Euroopassa asennettiin 17,2 GW. Eurooppa on edelläkävijä auringon energian hyödyntämisessä, sillä 55 % uusista järjestelmistä asennettiin Eurooppaan. Uusien järjestelmien asentaminen Euroopassa tulee laskemaan lähivuosina, sillä kasvu on ollut suurta jo muutaman vuoden ajan. Aurinkoenergia on kolmanneksi tärkein uusiutuvien energiamuotojen lähde maailman laajuisesti. (Epia.org, 2014)

Aurinkoenergiaa hyödynnetään muualla Euroopassa jo laajasti mutta Suomessa hyödyntäminen on vielä pientä. Auringon säteilyä pystytään Suomessakin hyödyntämään tehokkasti keskitalvea lukuunottamatta. Energiaa voidaan ottaa talteen lämpönä tai sähkönä. Aurinkopaneelien hinta on tippunut viime vuosina ja järjestelmän asentaminen omakotitaloon maksaa itsensä takaisin jo muutamassa vuodessa. Aurinkoenergian hyödyntäminen on järkevää uusissa rakennuksissa, joita koskevat uudet energiatehokkuus säädökset.

Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen TAKK:n sähköverkon testausympäristöön rakennetaan vuoden 2014 aikana sähköisten aurinkopaneelien tutkimusympäristö. Ympäristö mallintaa tyypillisen talokohtaisen aurinkoenergiaratkaisuiden toimintaa. Järjestelmä tullaan kytkemään verkkoon ja sitä tullaan käyttämään opetuskäytössä. Järjestelmään tullaan asentamaan mittalaitteita, joilla voidaan tutkia tarjolla olevan energian määrää ja paneelien tuottamaa energiaa.

2 AURINKOENERGIA

2.1 Aurinkopaneelin energiantuotto

Aurinkokongon energiaa voidaan muuttaa sähköksi joko hyödyntämällä lämpöä tai valoa. Tässä työssä keskitytään aurinkopaneeleilla tuotettuun säteilyä hyödyntävään tekniikkaan.

2.1.1 Aurinkokennon toiminta

Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa puolijohteeseen osuvat fotonit synnyttävät rajapinnan yli jännite-eron. Jos kennoon on kytketty kuorma, piirissä syntyy sähkövirta. Valosähköinen elementti muodostuu kahdesta yhteen liitetystä puolijohdemateriaalista. Toinen materiaaleista on P- ja toinen N-tyyppinen, joten yleisesti puhutaankin PN-tyypin puolijohteesta. Kun valosähköiseen puolijohteeseen osuu sopivalla taajuudella säteileviä fotoneja, syntyy puolijohteen yli jännite-ero ja kenno tuottaa energiaa. (Hietalahti 2013, 68)

Kennon maksimi jännite saadaan silloin kun piiri on avoin. Avoimen piirin jännite piistä valmistetulla kennolla on noin 0,6 V. ”Aurikokennosta saatu sähkövirta on verrannollinen muodostuvien elektroni-aukkoparien lukumäärään pinta-alayksikköä kohti, joten sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta ja siihen osuvasta valon tehotiheydestä. Auringon säteilyn suurin tehotiheys maan pinnalla säteilyä vastaan kohtisuorassa tasossa on noin 1 kW/m^2 .” (Inkinen, Manninen & Tuohi 2009, 576).

Aurinkokennon tehoon vaikuttaa myös lämpötila. Tämä johtuu puolijohdemateriaalien ominaisuuksista. Kennon toiminnan kannalta alhaisempi lämpötila on parempi, sillä lämpötilan noustessa kennon jännite ja teho laskevat. (Inkinen, Manninen & Tuohi 2009, 576).

Alhainen lämpötila parantaa tuottoa, jolloin kennon jäähtymiseen on kiinnitettävä erityisesti huomiota. Kennon lämpötila tulee pitää alle $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sillä suuremmat lämpötilat voivat synnyttää toiminallisia ja vanhenemiseen liittyviä ongelmia. (Hietalahti 2013, 70)

Aurinkopaneeli muodostuu useasta sarjaan kytketystä kennosta, jolloin paneelin jännitettä saadaan kasvatettua halutun suuruiseksi.

Yksikiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot ovat pitkään olleet yleisin käytetty kennotyyppi. Tällaisen piikennon hyötysuhde on tyypillisesti noin 12- 16 prosenttia. Yksikiteiset kennot ovat kuitenkin monimutkaisia ja arvokkaita, jonka vuoksi niitä käytetään lähes ainoastaan keskittävissä aurinkomoduuleissa ja hybridikeräimissä. Kennojen tuottama sähköteho on tyypillisesti noin 140 wattia per neliometri. (Hietalahti 2013, 68)

Monikiteiset piikennot ovat halvempia valmistaa kuin yksikiteiset mutta niiden hyötysuhde on puolestaan hieman alhaisempi noin 11 – 15 prosenttia. Tehontuotto on noin 125 wattia per neliometri. (Hietalahti 2013, 68)

2.1.2 Aurinkopaneelin tuotto

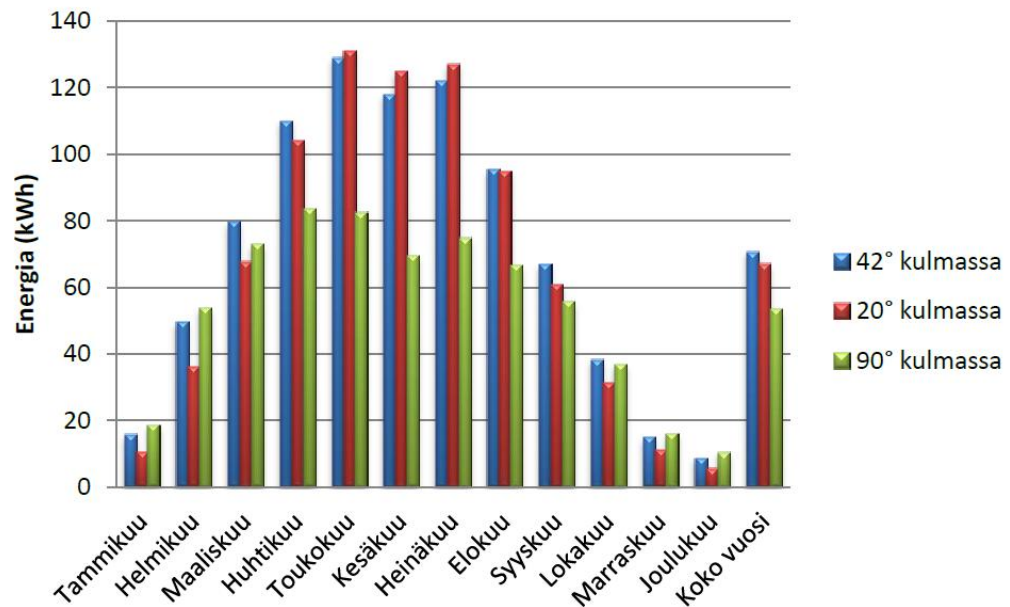
Auringon säteilyn intensiteetti vaihtelee vuodenaikojen sekä säätilan mukaan. Kesällä ja kirkkaalla säällä intensiteetti on suurempi, kuin talvella tai pilvesellä säällä.

Säteilyn ja paneelin kohtauskulma riippuu paneelin suuntakulmasta β sekä kallistuskulmasta α . Pohjoisella pallonpuoliskolla optimisuuntaus on etelään ja suuntakulma kertoo, kuinka monta astetta suuntaus poikkeaa etelästä. Suomen leveyspiirillä auringon säteily saapuu pinnalle vinosti, eri kulmassa eri vuodenaikaan. Kiinteästi asennettujen paneelien optimikallistuskulma Tampereella on noin 42° vaakatasoon nähden. (Paavola 2012, 5)



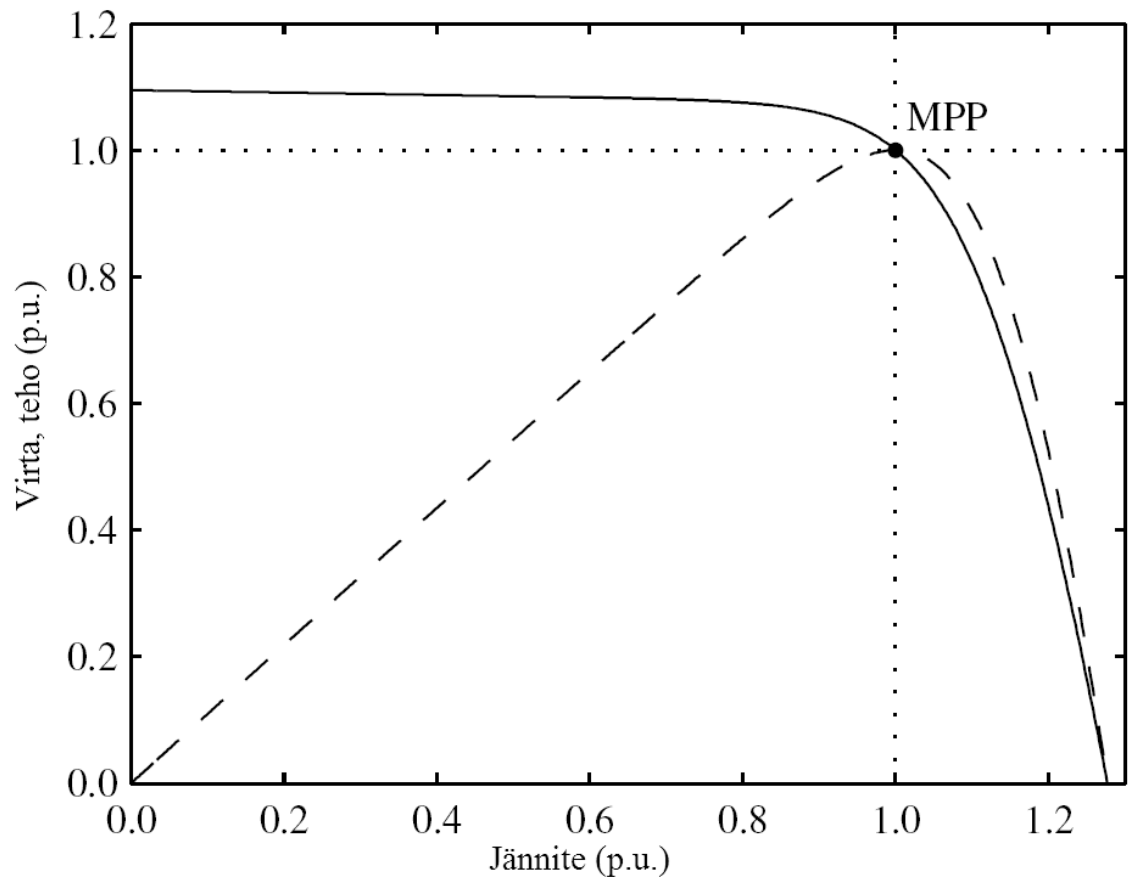
Kuva 1. Aurinkopaneelin kallistuskulmat

Kuvassa yksi on havainnollistettu kallistuskulmaa ja ilmansuuntaa. Kuvassa kaksi havaitaan kuinka kallistuskulma vaikuttaa tehontuottoon eri kuukausina. Talvella pystysuorassa oleva paneeli kerää enemmän energiaa, kun aurinko paistaa alhaalta. Kesällä taas pienemmällä kulmalla oleva paneeli tuottaa paremmin, kun aurinko paistaa ylempää.



KUVA 2. Arvioitu kuukausituotanto Tampereella nimellisteholtaan 1 kW_p aurinkosähköjärjestelmälle paneelien erikallistuskulmilla. (Paavola 2009, 9)

Paneelista saatava suurin mahdollinen teho vaihtelee olosuhteiden mukaan. Paneelista saatava maksimiteho saadaan kennon maksimitehopisteessä. Maksimitehopiste saadaan virran ja jännitteen tulon maksimiarvosta. Aurinkokenno ei toimi maksimitehopisteessä ilman ohjausta, jonka hoitaa erillinen laite esimerkiksi invertteri tai lataussäädin. Kuvassa kolme on erään aurinkokennon maksimitehopiste.



KUVA 3. Aurinkokennon maksimitehopiste (Paavola 2012, 16).

Paneeleille ilmoitetaan avoimen piirin jännite sekä oikosulkuvirta. Avoimen piirin jännite tarkoittaa tilannetta, jossa paneeliin ei ole kytketty kuormaa ja tällöin paneeli tuottaa suurimman mahdollisen jännitteen. Oikosulku tilanteessa paneelin jännite tippuu lähelle nollaa mutta virta saa suurimman arvonsa.

2.2 Pyranometri

Pyranometrillä mitataan auringon säteilyn tehotiheyttä eli intensitettiä, joka tarkoittaa säteilyn tehoa pinta-alayksikköä kohti maassa. Tehotiheys ilmoitetaan yleensä mudossa wattia per neliömetri. Pyranometri mittaa tulevaa säteilyä tasossa ja sen näkökenttä on 180 astetta. Auringon säteilyn spektri on noin 300 - 2800 nm, joten pyranometrin tulee toimia samalla aallonpituusalueella kun auringon säteily.

Pyranometrin toiminta perustuu tavallisesti auringon säteilyn energian muuttamiseen lämmöstä sähköksi. Saapuva säteily lämmittää pyranometrissä olevaa elementtiä, joka tuottaa säteilyn määrään verrannollisen jännitteen. Koska anturin toiminta perustuu lämpöön, tästä aiheutuu viivettä mittauksiin. Lämpöelementin lisäksi pyranometri voi

perustua fotodiodiin, tällöin diodi tuottaa säteilyyn verrannollisen jännitteen. Fotodiodi reagoi nopeammin säteilyn muutoksiin mutta se ei ole yhtä tarkka kuin lämpöön perustuva anturi. Pyranometrin mittaustuloksiin vaikuttaa sen kulma aurinkoon nähden, tätä kulmaa sanotaan kosinikulmaksi.



KUVA 4. Pyranometri kipp & zonen CMP 21 (kippzonen.com, 2014)

Kuvassa neljä on pyranometri, jonka on valmistanut kipp & zonen. Pyranometrin anturia on suojaamassa lasikupu, joka myös suodattaa osan ei toivotusta spektristä pois. Kuvan pyranometrin toiminta perustuu lämpöön.

Pyranometrin antama jännitetieto tallennetaan erilliseen tiedon tallennus järjestelmään, josta tiedot voidaan kopioida ja analysoida tietokoneella.

3 Pientuottajaa koskevaa lainsäädäntöä ja suosituksia

Mikrovoimalaitoksen liittämistä verkonhaltijan hallinnoimaan verkkoon koskee useat lait ja suositukset sekä standardit, muun muassa sähkömarkkinalaki ja energiateollisuuden antama verkostosuositus mikrotuotantolaitosten liittamisestä jakeluverkkoon.

3.1.1 Sähköntuotantoa koskevaa lainsäädäntöä

Sähkömarkkinalaissa määrätään verkonhaltija liittämään voimalaitokset verkkoon kohtuullisella korvauksella mutta lisänä pientuottajalle ei saa siirtää kuluja, mikäli sähköverkkoa pitää vahvistaa. ”pienimuotoisen sähköntuotannon sähköverkkoon liittamisestä veloitettavaan maksuun ei saa sisällyttää sähköverkon vahvistamisesta aiheutuvia kustannuksia”(sähkömarkkinalaki 2013, 56 §). Pykälässä 20 käsitellään liittämisvelvollisuutta.

20 §. Liittämisvelvollisuus.

Verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset toiminta-alueellaan. Liittämistä koskevien ehtojen ja teknisten vaatimusten tulee olla tasapuolisia sekä syrjimättömiä, ja niissä on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus.

Verkonhaltijan tulee julkaista liittämistä koskevat tekniset vaatimukset sekä kohtuullinen aika, jonka kuluessa verkonhaltija käsittelee liittymistä koskevat tarjouspyynnöt.

Verkonhaltijan tulee antaa liittyjälle tämän pyynnöstä kattava ja riittävän yksityiskohtainen arvio liittymiskustannuksista sekä arvio liittymän toimitusajasta. (sähkömarkkinalaki 2013).

3.1.2 Mikrotuotannon verkostosuositus

Mikrotuotanto määritellään energiateollisuuden antaman suosituksen perusteella seuraavasti:

Mikrotuotantoa on sellainen sähköntuotanto, joka on tarkoitettu ensisijaisesti kohteen omaan käyttöön ja verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä. Tällaisissa tuotantolaitoksissa verkkoon syöttäminen ei ole ensisijainen sähköntuotantomotiivi. Mikrotuotantoa ovat siis lähinnä yksityisten kuluttajien tai pienyritysten hankkimat pienet sähköntuotantolaitokset, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmään. Yleisimpiä tuotantolaitostyyppisiä ovat tällä hetkellä tuulivoimalat, aurinkovoimalat sekä hyvin pienet biopolttolaitokset. (verkostosuositus 2009, 2).

Verkostosuosituksessa mikrotuotannon liittämisestä sähköjakeluverkkoon annetaan ohjeita millaisia toimenpiteitä pitää tehdä, kun uutta mikrovoimalaitosta liitetään verkkoon. Suosituksessa määritellään tarvittavat suojaukset ja asetteluarvot, kun käytetään verkkoon tahdistuvaa invertteriä tai muuta vastaavaa laitetta. Kuvassa kaksi on esitetty liittymän suojauksen asetteluarvot, kun käytössä on yksiportainen suojaus.

TAULUKKO 1. Taulukko liittymän suojauksen asetteluarvoista. (verkostosuositus 2009, 8)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,15 s	$U_n + 10 \%$
Alijännite	1,5 s	$U_n - 15 \%$
Ylijätaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita		

Taulukossa yksi esiintyvä Loss of Mains tarkoittaa tilannetta, jossa verkon jännite katoaa. Saarekekäytönestosuojaus estää järjestelmää syöttämästä sähköä verkkoon, kun verkolle suoritetaan huoltotöitä.

Mikrotuottajan tulee toimittaa verkonhaltijalla tiedot tuotantolaitteiston teknisistä ominaisuuksista. Tuottajan tulee antaa seuraavat tiedot ennen liittämistä. Verkonhaltija antaa liittämisluvan mm. näiden tietojen perusteella.

- Tuotantolaitteen, verkkoonliityntälaitteen ja mahdollisten lisälaitteiden tyyppikilpiin kirjatut tiedot sekä laitteen syöttämä suurin vikavirta
- Testauspöytäkirja, josta selviää, että tuotantolaitos täyttää aliluvussa 5.2.esitetyt suojausvaatimukset
- Tuotantolaitoksen verkkoon kytkeytymistapa (automaattinen/manuaalinen) ja kytkeytymisaika
- Tieto laitoksen erottamisratkaisusta ja erottimen tiedot
- Testauspöytäkirjat, joista selviää, että laitteisto täyttää luvussa 4. esitetyt EMCvaatimukset

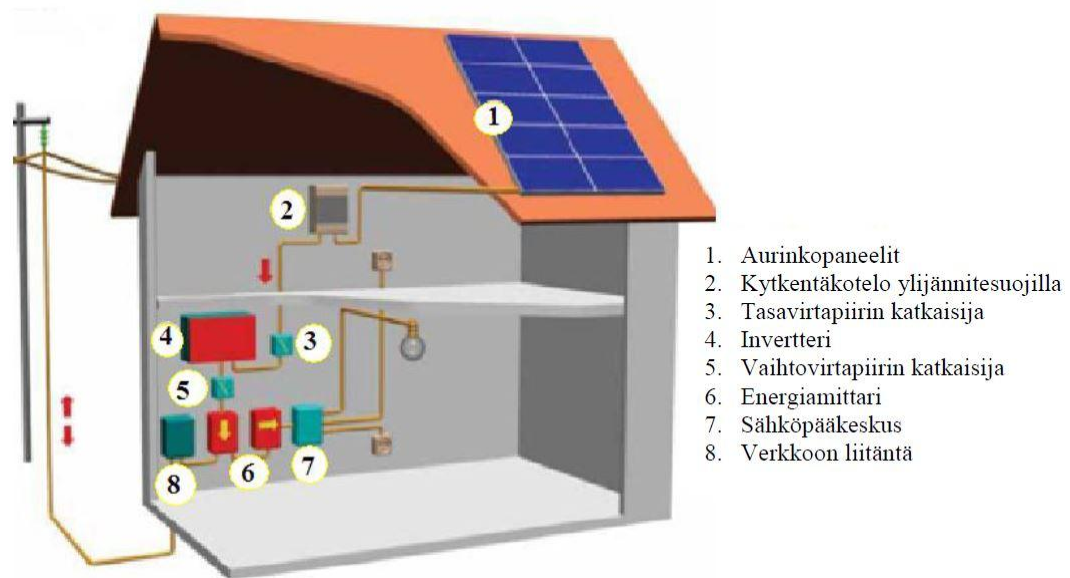
Kun laite on kytketty verkkoon, tuottajan tulee toimittaa verkonhaltijalle asianmukainen käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Jos laitos on yksivaiheinen, tulee käydä ilmi, mille vaiheelle se on liitetty.

Tuotantolaitosta voidaan käyttää vasta, kun käyttöönottotarkastuspöytäkirja on toimitettu verkonhaltijalle ja verkonhaltija on antanut luvan laitoksen käyttöön. (verkostosuositus 2009, 14)

4 Aurinkosähköjärjestelmät

4.1 Verkkoon kytketty järjestelmä

Verkkoon kytketty järjestelmä koostuu paneeleista, invertteristä sekä suojalaitteista. Järjestelmä voi olla joko yksi- tai kolmivaiheinen, riippuen paneelien tuottamasta tehosta ja invertteristä. Tavalliseen omakotitaloon riittää yleensä yksivaiheinen järjestelmä, jolloin järjestelmän suurin teho on noin 3,7 kW. Pienimmät kolmivaiheiset invertterit ovat teholtaan noin 5 kW. Kuvassa viisi on esitetty järjestelmän rakenne ja suojalaitteet.



KUVA 5. Verkkoon kytkennän pääkomponentit (Paavola 2012, 23)

Järjestelmä on järkevintä mitoittaa oman kulutuksen mukaan. Mitoittaminen kannattaa aloittaa selvittämällä oman talon sähkönkulutus. Sähkönkulutusprofiili on luonnollisesti erilainen riippuen siitä, onko talo sähkölämmitteinen vai ei. Kaukolämmön piirissä olevien kiinteistöjen sähkönkulutus on tasaisempaa, sillä ilman veden ja veden lämmitys hoidetaan kaukolämmöllä. (Paavola 2012, 35)

Omakotitalon pohjakuorma riippuu talon varustelutasosta. Pohjakuorman muodostavat pääasiassa kylmälaitteet sekä erilaisten elektroniikkalaitteiden valmiustilat. Kylmäsäilytyslaitteet kuluttavat yleensä noin 50 - 90 Wh energiaa tunnissa. Tyypillisesti omakotitalon pohjakuorma on noin 200 W - 400 W. Mikäli kiinteistössä on

kesähelteillä käytössä oleva jäähdytyslaite, tulee se ottaa huomioon mitoituksessa. (Paavola 2012, 36)

Järjestelmät kytketään omakotitaloissa yleensä yksivaiheisesti, sillä alle 5 kW:n järjestelmille ei ole kolmivaiheinverttereitä. Sähköasentajan kytkiessä paneelit verkkoon voidaan vaiheistus järjestellä siten, että pohjakuormaa on mahdollisimman paljon samalla vaiheella. Vaiheiden epäsymmetrian vuoksi yhden vaiheen kuorma ei kuitenkaan saa olla liian suuri verrattuna kahteen muuhun. Sähkölaitoksen tulee tietää, mille vaiheelle laitos kytketään. (Paavola 2012, 36)

4.1.1 Invertteri

Invertteri muuttaa aurinkopaneeleilta saatavan tasasähkön sinimuotoiseksi vaihtojännitteeksi. Invertterin tehosta riippuen se voi olla yksi tai kolmivaiheinen. Yleensä alle kolmen kilowatin invertterit ovat yksivaiheisia ja tätä isommat kolmivaiheisia. Verkkoonkytkettävä invertteri tahdistuu verkkoon automaattisesti, joten se tarvitsee sähkönsyötön myös vaihtojännitepuolelta. Invertteriin on yleensä sisäänrakennettuna tarvittavat suojaukset. Suojauksiin sisältyy yli- ja alijännitesuojaus, taajuuden vaihtelun suojaus sekä loss of mains suojaus. (Paavola 2012, 23)

Invertterin toiminta perustuu tasasähkön katkomiseen ja suodatinpiirien avulla jännitteestä muodostuu sinimuotoista. Invertterejä on olemassa muuntajallisia ja muuntajattomia. Muuntajallinen invertteri erottaa verkot galvaanisesti toisistaan mutta muuntajallisen invertterin teho erot ovat suurempia kuin muuntajattoman. Teho erot johtuvat muuntajassa tapahtuvista häviöistä.

Invertterissä on hyvä olla maksimitehopisteen seuranta. Maksimitehopisteen seurannalla optimoidaan paneeleista saatavan tehon määrää. Maksimiteho vaihtelee paneelin ominaisuuksien mukaan riippuen mm. aurigon säteilytehosta sekä paneelin lämpötilasta. Kuvassa kuusi on SMA:n valmistama yksivaiheinen verkkoinvertteri.



KUVA 6. Sunnyboy 2000 HF verkkoinvertteri

Invertteri sisältää yleensä mittauksia, joilla voidaan seurata esimerkiksi aurinkopaneelien jännitettä tai verkkoon tuotettua tehoa. Inverttereihin on saatavilla myös lisälaitteita, joiden avulla järjestelmän tietoja voi seurata tietokoneella tai muulla laitteella jolla pääsee verkkoon.

4.1.2 Järjestelmän osat

Omakotitalossa paneelit asennetaan tavallisesti katolle, jolloin paneelien sarjaan kytkentä kannattaa tehdä mahdollisimman lyhyillä kaapeleilla, sillä jännitteen alenema kasvaa suureksi pienellä jännitteellä. Kytchentäkotelo sijoitetaan lähelle paneeleja ja sinne on myös hyvä asentaa ylijännitesuojat salaman iskujen varalta. Kytchentäkotelolta tasajännite vietään invertterille tasavirta katkaisijan kautta.

Invertterin jälkeen vaihtovirta puolella on katkaisija ja sulake ennen liittymistä ryhmäkeskukseen. Koska energiaa voidaan tuottaa verkkoon, täytyy pääkeskuksella olevan sähkömittarin pystyä mittaamaan molempiin suuntiin siirrettävää tehoa.

4.1.3 Rinnalle kytketty varavoima

Verkkoon kytketyn järjestelmän rinnalle on myös mahdollista asentaa akusto tai aggregaatti. Akusto tai aggregaatti toimivat tällaisessä käytössä varavoimana. Käytettäessä varavoimaa, voidaan paneelien tuottama energia käyttää hyväksi mikäli aurinkoinvertteri pystyy tahdistumaan varavoimalla tuotettuun vaihtojännitteeseen.

4.2 Verkkoonkytkemätön enrgiavarastollinen järjestelmä

Järjestelmään kuuluu tavallisesti paneelit, akusto, kuormana toimivat laitteet sekä suojalaitteet. Tällaista järjestelmää käytetään yleensä mökeillä. Järjestelmän käyttöjännite voi olla tasa- tai vaihtojännitettä. Tasajännitteenä käytetään yleensä 12 tai 24 voltia, jolloin voidaan käyttää yhtä tai kahta akkua.

Paneeleilta tulevaa tehoa ohjataan lataussäätimellä, joka hoitaa akkujen latauksen. Lataussäädin käyttää maksimitehopisteen seurantaa, jolla optimoidaan järjestelmästä saatava teho. Säädin ohjaa paneeleilta tulevaa jännitettä sekä akuille syötettävää jännitettä.

Järjestelmän energiaa voidaan käyttää tasajännitteellä suoraan akuilta tai vaihtojännitteellä käyttämällä invertteriä akkujen ja laitteiden välillä. Invertterin ei tarvitse sisältää samoja suojauksia kuin verkkoonkytketyn invertterin, sillä järjestelmän energiaa ei voida siirtä jakeluverkkoon. Kuvassa seitsemän on lataussäädin, invertteri sekä suojalaitteet.



KUVA 7. Järjestelmän pääkomponentit

5 Järjestelmän hankinta

Järjestelmä hankitaan kilpailuttamalla toimittajia ja annetut ehdot parhaiten täyttänyt järjestelmä valitaan. Liitteessä yksi on tarjouspyyntöön annetut tarkat vaatimukset järjestelmälle.

5.1 Aurinkopaneelin valinta

Työn tarkoituksena oli rakentaa noin kahden kilowatin tehoinen järjestelmä ja koska paneelit asennetaan niille erikseen suunniteltuun telineeseen, asetti tämä omat vaatimuksensa paneelien valintaan. Paneeleja tuli olla kahdeksan kappaletta ja niiden tuli kestää niille aiheutuvat tuuli ja lumikuormat. Tuulikuorman mitoitus arvo oli 715 Pa ja lumikuorman 2150 Pa. Teline rajoittaa paneelien leveydeksi ja pituudeksi 1700 x 1000 mm. Lisäksi sähköisenä mitoitus rajana toimi järjestelmän kokonaisteho, jolloin yhden paneelin tehon tuli olla noin 250 wattia.

Aurinkopaneelien valmistajat ilmoittavat datalehdissä paneelin STC arvot eli Standard Test Condition arvot. Tällöin paneelia on testattu säteilyintensiteetin arvolla 1000 W/m², ilmamassan arvolla 1,5 sekä lämpötilan ollessa 25 °C. Testissä käytetyt arvot vastaavat lähes ideaalia tilannetta, joten paneelien todellinen tehon tuotto poikkeaa testi arvoista.

Aurinkopaneeleille annetaan tehotakuu, joka tarkoittaa paneelin tehon tuoton putoamista tietyn rajan sisällä annetun takuuajan aikana. Esimerkiksi paneelille voidaan luvata kymmenen vuoden kuluttua 90 %:n tehon tuotto uuteen paneeliin verrattuna.

Paneelin tyypiksi tullaan valitsemaan monikidepaneeli, sillä monikidepaneeli on tällähetkellä halvin valmistaa ja monikiteisen hyötysuhde on lähes sama kuin yksikiteisen paneelin.

5.2 Invertterin ja lisälaitteiden valinta

Invertterin valinta määräytyi paneelien tehon mukaan eli invertterin tuli pystyä siirtämään kahden kilowatin teho sähköjärjestelmään. Invertterin tuli pystyä tahdistumaan verkkoon ja syöttämään sähköä jakeluverkkoon. Paneelien tehon perusteella invertteriksi täytyi valita yksivaiheinen malli. Suomessa toimivat myyjät tarjoavat lähes poikkeuksetta SMA:n laitteita verkkoon kytkettäviin järjestelmiin. Koska mikrotuotannon rakentaminen on vielä pientä ei laitevalmistajia ole montaa.

Invertteriin haluttiin myös mahdollisuus kerätä tietoja järjestelmän toiminnasta ja syötetyistä tehoista. Tietojen avulla voidaan seurata paneelien tuottoa ja pitkällä aikavälillä voidaan esimerkiksi havaita paneelien likaantumisen aiheutuva tehon pieneneminen. Tietoja on myös mahdollista välittää invertterin valmistajan web ympäristöön, josta tiedot näkee omalla tietokoneella tai puhelimella. Web-ympäristön lisäksi invertterin yhteyteen on saatavilla anturipaketteja, jotka mittaavat mm. lämpötilaa ja saatavilla olevaa säteilyä. Antureiden avulla voidaan tutkia paneelien reagoitua eri sääoloissa. Tarjoukseen kysyttiin myös pyranometriä, joka on yhteensopiva RS-485 väylän kanssa.

6 Mittaukset

Koska järjestelmää ei ehditty tilaamaan ajoissa Tampereen aikuiskoulutuskeskukselle, mittausosuus suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun sähkötekniikan laboratoriossa sijaitsevilla aurinkopaneeleilla. Mittauksissa tutkittiin paneelien tyhjäkäyntijännitettä ja sen muutosta, kun paneeleja varjostetaan. Lisäksi tutkittiin paneelien toimintaa, kun lataussäädin lataa akkuja ilman kuormitusta ja kuormituksen kanssa.

6.1 Mittauslaitteisto

Mitattavat aurinkopaneelit on asennettuna seinälle ja niille tuotetaan säteilyä kahdella rikkiplasmavalaisimella. Yhden valaisimen teho on 730 wattia, jolloin paneeleille tuotettava säteilyteho on noin 1460 wattia. Kuvassa kahdeksan on paneelit sekä pimennysverhot, joilla suoritetaan paneelien tai toisen paneelin varjostus.



KUVA 8. Paneeli ja pimennysverho

Paneelien tärkeimmät ominaisuudet on esitetty taulukossa kaksi. Paneelit ovat yksikide paneeleja ja niiden teho on 250 W. Kuvassa yhdeksän on paneelit sekä valaisin.

Taulukko 2. HJ-Solar paneelin arvot

Nimellisteho W_p	250 W
Tehollinen jännite V_{mp}	50,6 V
Tyhjäkäyntijännite V_{oc}	60,5 V
Tehollinen virta I_{mp}	4,9 A
Mitat	1580x1062
Paino	22 kg



KUVA 9. Paneelit ja valaisimet

Lataussäätimenä laitteistossa toimii morningstarin valmistama TSMPPT-45 lataussäädin. Säätimen virrankestoisuus on 45 ampeeria. Säätimen mittaamat jännite ja virta tiedot sai tallennettua rs-232 väylän avulla, käyttämällä MSview ohjelmaa. Säädin on kuvassa seitsemän keskellä.

Energiavarastona toimii Victron enegyn valmistamat kaksi sarjaan kytkettyä 12 voltin aurinkojärjestelmiin suunniteltua akkua. Akuston jännite on 12 voltia ja sähkövaraus 220 ampeerituntia. Järjestelmä on asennettu helposti liikuteltavaan kärkyyn, jossa akusto on asennettu alas ja lataussäädin ja invertteri tasolle. Mittauslaitteiston kärky on kuvassa kymmenen.



KUVA 10. Mittauslaitteisto

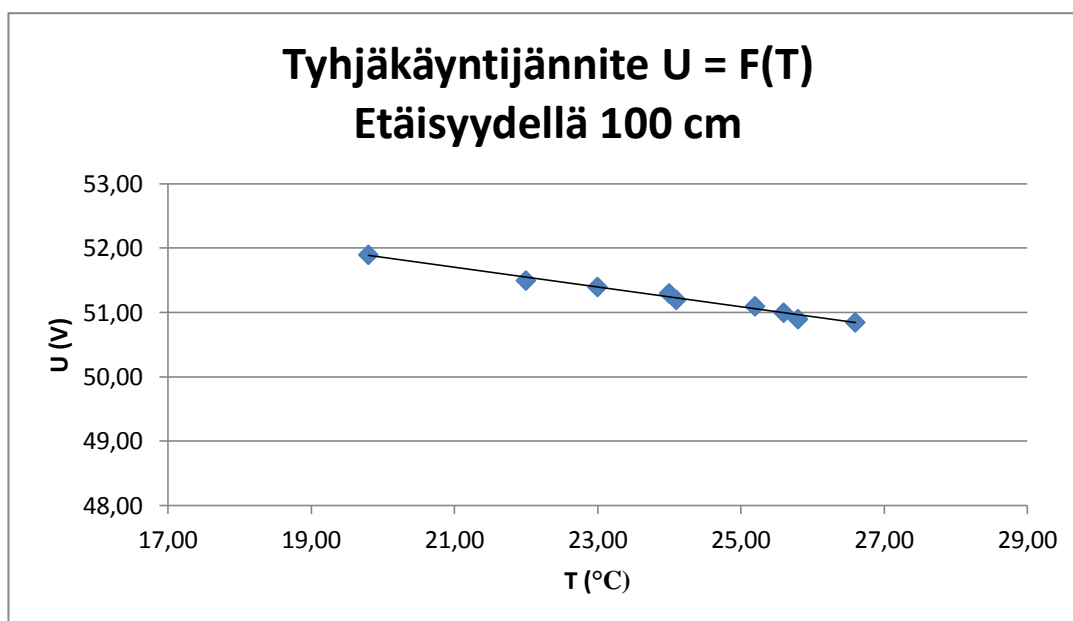
Invertteri on myös Victron energyn valmistama ja se toimii 24 voltilla ja sen teho on 1600 wattia. Invertteri kykynee tuottamaan 230 voltia vaihtojännitettä yksivaiheisena.

6.2 Tyhjäkäyntijännitteen tuotto

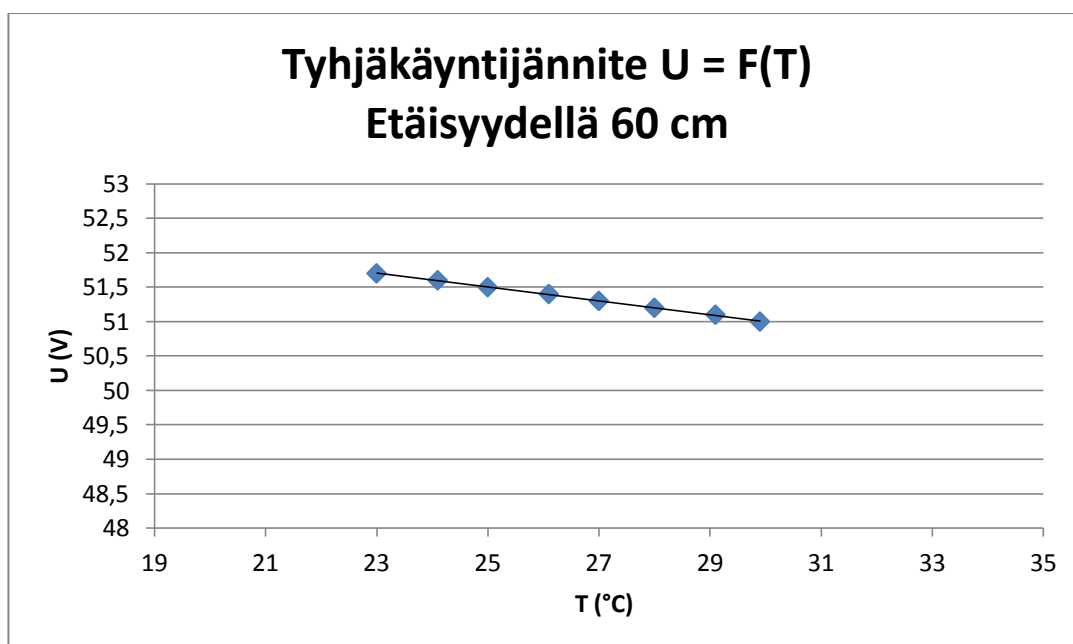
6.2.1 Lämpötilan vaikutus tyhjäkäyntijännitteeseen

Ensin tutkittiin paneelien lämpötilan vaikutusta tyhjäkäyntijännitteeseen. Kuviossa yksi on esitetty tyhjäkäyntijännitteen muutos lämpötilan suhteen valaisimien ollessa 100 cm etäisyydellä paneeleista ja kuviossa on tyhjäkäyntijännite valaisimien ollessa 60 cm etäisyydellä paneeleista.

Lämpötila mitattiin paneelin pinnan kohdasta, johon valaisimen säteily oli keskittynyt ja lämpötila sai suurimman arvonsa. Mittauksen aikana seurattiin myös lämpötilaa paneelin pinnan muista kohdista. Muiden kohtien lämpötilat eivät poikenneet huoneenlämmöstä. Lämpötila mitattiin käyttämällä Fluken infrapunalämpömittaria.



KUVIO 1. Tyhjäkäyntijännite lämpötilan funktiona etäisyydellä 100 cm

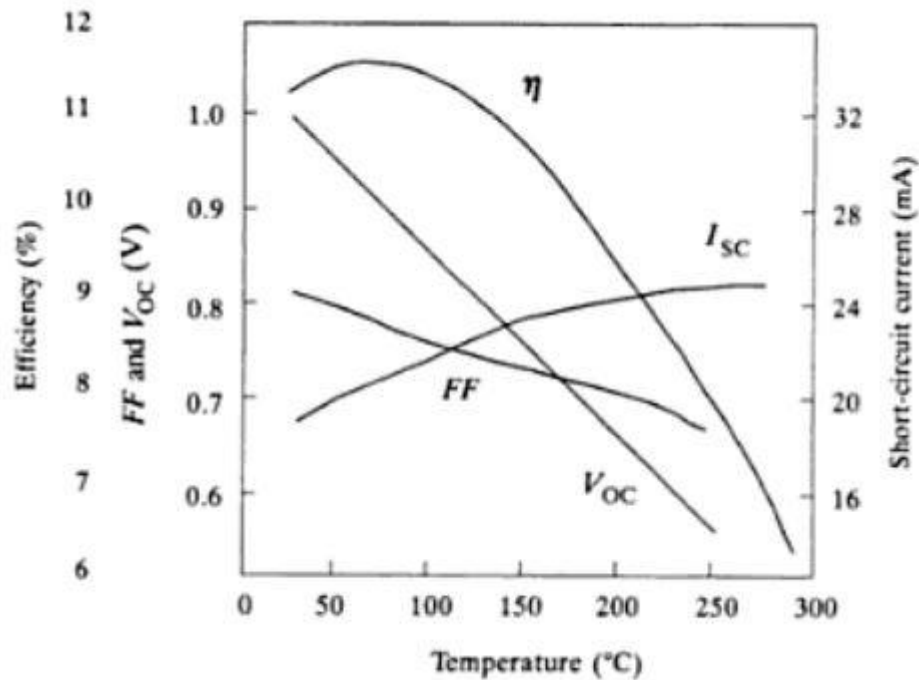


KUVIO 2. Tyhjäkäyntijännite lämpötilan funktiona etäisyydellä 60 cm

Kuviosta yksi ja kaksi havaitaan, että tyhjäkäyntijännite laskee lineaarisesti lämpötilan noustessa. Paneelien lämpötila ei noussut yli 30 °C sillä valaisimet eivät lämmitä paneeleita tarpeeksi. Valaisimet eivät tuota tarpeeksi valotehoa, jotta paneelit saavuttaisivat STC olosuhteissa ilmoitetun tyhjäkäyntijännitteen, joka on 60,5 V.

Mittausten perusteella paneelin tyhjäkäyntijännite tippuu noin 0,1V / °C valaisimien antamalla teholla. Kuvassa 11 on teoreettisesti laskettu tyhjäkäyntijännite

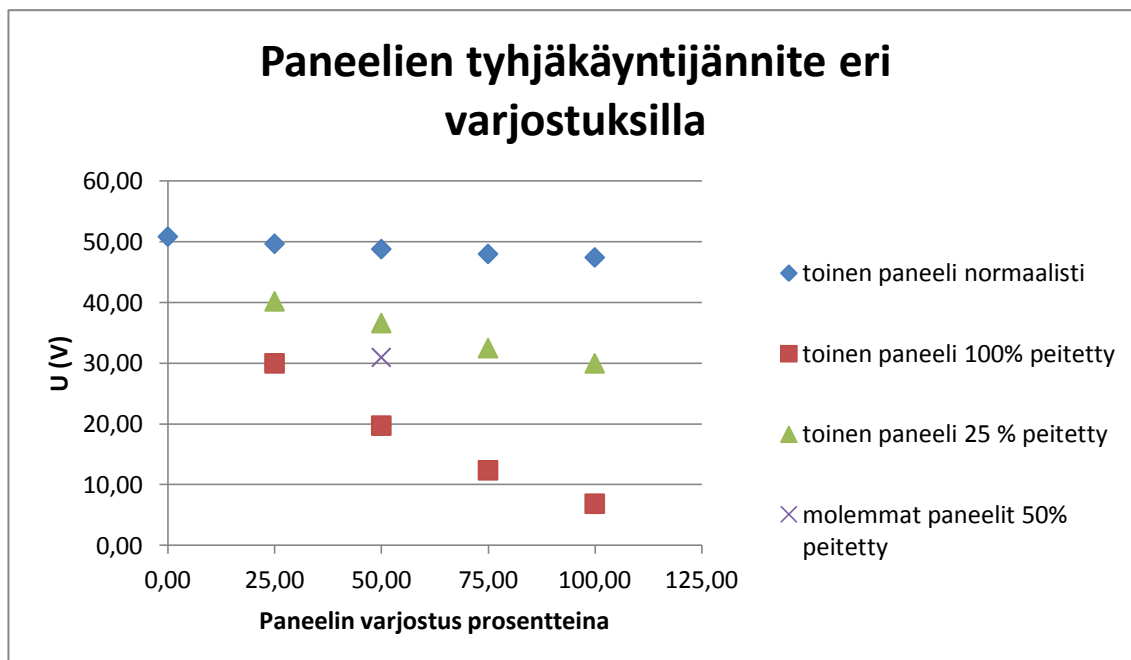
aurinkopaneelille. Kuvasta havaitaan, että tyhjäkäyntijännite putoaa lineaarisesti lämpötilan muuttuessa.



KUVA 11. Lämpötilan vaikutus paneelin toimintaan (Lorenzo 1994 ,83)

6.2.2 Paneelien varjostuksen vaikutus tyhjäkäyntijännitteeseen

Paneelien lämpötilan vakiinnuttua kokeiltiin varjostuksen vaikutusta paneelien tyhjäkäyntijännitteeseen. Ensimmäisellä mittauksella vain toista paneelia varjostettiin, jolloin tyhjäkäyntijännite putosi vain noin kaksi voltia. Koska paneelit ovat rinnankytketty, toinen paneeli riittää ylläpitämään tyhjäkäyntijännitteen tässä tilanteessa. Toinen mittaus suoritettiin, kun toinen paneeli oli kokonaan varjostettuna, tällöin jännite putoaa huomattavasti varjostusta lisättäessä. Kolmannella mittauksella toinen paneeli oli varjostettuna 25 %. Neljännessä mittauksessa molempia paneeleja oli varjostettu 50%. Kuviossa kolme on esitetty mittausten tulokset.

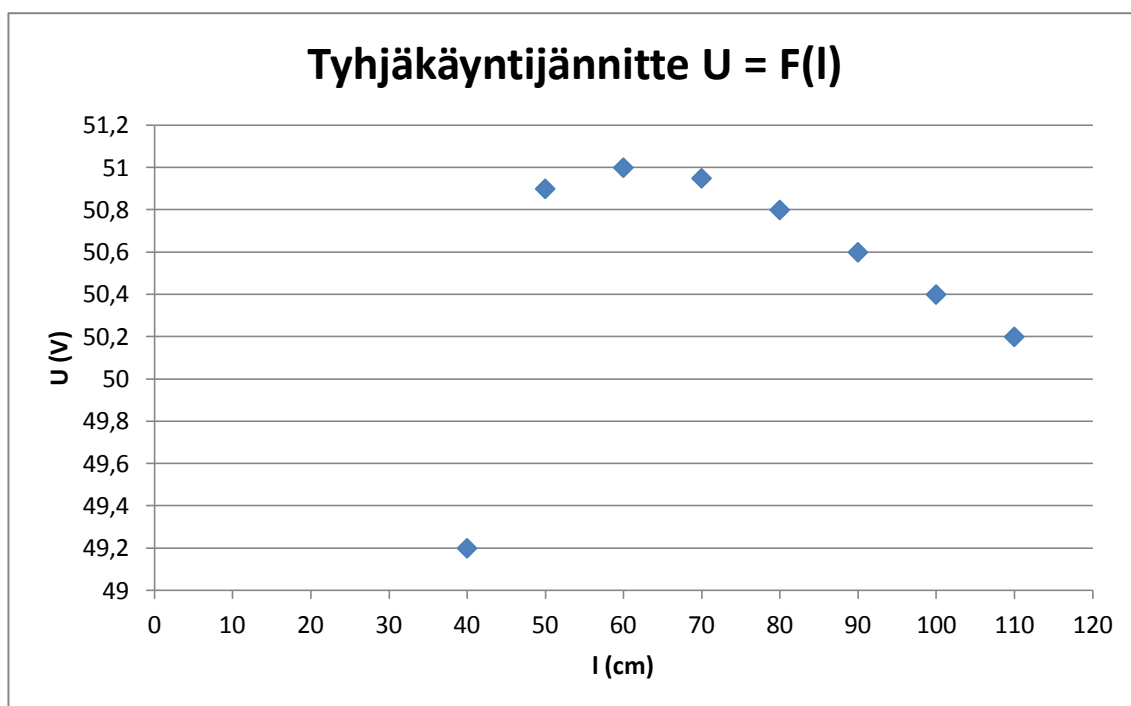


KUVIO 3. Paneelien tyhjäkäyntijännitteet varjostettaessa

Kun molempia paneeleja on varjostettu ja niiden yhteenlaskettu varjostettu pinta-ala on sama ovat tyhjäkäyntijännitteet lähes yhtäsuuret. Vaikka molemmat paneelit oli varjostettu täysin, pääsee taustasäteilyä paneeleille, joten jännite ei tipu aivan nolnaan asti. Teorian mukaan paneeleita varjostettaessa paneelin pinnalle pääsee vähemmän säteilyä, jolloin tyhjäkäyntijännite putoaa.

6.2.3 Etäisyyden vaikutustyhjäkäyntijännitteeseen

Paneelien ja valaisimien etäisyyttä kasvatettiin tasaisin välein. Teoriassa mitä kauempana valaisin on paneelista sitä vähemmän säteilyä päätyy paneelille. Kuvista kolme havaitaan, että valaisimien ollessa noin 60 cm etäisyydellä paneeleista saavutetaan suurin tyhjäkäyntijännite. Mikäli valaisimet ovat liian lähellä paneeleita, valaisimien tuottama valaisuteho rajoittuu liian pienelle pinta-alalle paneeleissa.



KUVIO 3. Tyhjäkäyntijännite etäisyyden funktiona

6.3 Paneelien toiminta akkuja ladattaessa

Akkuja ladattaessa lataussäädin ohjaa paneeleilta tulevaa jännitettä ja virtaa yrittäen löytää maksimitehopisteen. Valaisimet olivat ensimmäisessä mittauksessa 60 cm etäisyydellä paneeleista ja toisella kerralla 85 cm päässä. Paneelien lämpötila ei vaihdellut mittausten aikana. Ensin toista paneelia varjostettiin niin kauan, kuin lataussäädin kykeni lataamaan akkuja. Paneeleilta tuleva virta ja jännite mitattiin ennen lataussäädintä ja akuille menevä jännite ja virta mitattiin lataussäätimen jälkeen. Mitattujen virta ja jännitearvojen perusteella laskettiin tuleva ja lähtevä teho sekä hyötysuhde. Mittaustulokset on esitettyinä taulukoissa kolme ja neljä.

TAULUKKO 3. Mittaustulokset valaisimien ollessa 60 cm paneeleista.

U (V) paneeli	I (A) paneeli	P (W) paneeli	U (V) akku	I (A) akku	P (W) akku	hyötysuhde	varjostus (%)
25,44	0,21	5,3	24	0,21	5,0	0,94	0
25,5	0,12	3,1	24	0,12	2,9	0,94	25
24,1	0,1	2,4	24	0,1	2,4	1,00	50
24,1	0,09	2,2	24	0,1	2,4	1,11	75
24,1	0,09	2,2	24	0,09	2,2	1,00	100
24,1	0,05	1,2	24	0,05	1,2	1,00	25/25

TAULUKKO 4. Mittaustulokset valaisimien ollessa 85 cm paneeleista.

U (V) paneeli	I (A) paneeli	P (W) paneeli	U (V) akku	I(A) akku	P (W) akku	hyötysuhde	varjostus (%)
29,8	0,26	7,7	24,21	0,31	7,5	0,97	0
29	0,14	4,1	24,17	0,17	4,1	1,01	25
29	0,13	3,8	24,17	0,15	3,6	0,96	50
28,7	0,12	3,4	24,17	0,15	3,6	1,05	75
28,7	0,11	3,2	24,17	0,14	3,4	1,07	100
n.28	0	0	24	0	0	0	25/25

Paneelien tuottama teho putoaa huomattavasti, kun toista paneelia varjostetaan vähänkin. Molemmista mittauksista havaitaan, että paneelien virta putoaa lähes puolella, kun toista paneelia varjostetaan. Lataussäädin pyrkii pitämään paneelien jännitettä korkealla, jolloin aiheutuu vähemmän häviöitä. Tätä on kuitenkin vaikeaa havaita koska järjestelmän valaisimet eivät kykene tuottamaan tarpeeksi säteilyä paneeleille. Taulukon neljä viimeisessä mittauksessa molempia paneeleja oli varjostettu 25%, jolloin lataussäädin ei kyennyt enää latamaan akkuja.

Lataussäädin pyrkii pitämään paneelit maksimitehopisteessä, joka saavutetaan säätämällä jännitettä ja virtaa sopivan suuruiseksi. Varjostustilanteessa säädin etsii uuden tilanteen maksimitehopisteen. Paneeleilta saatava virta putoaa toista paneelia varjostettaessa siksi, koska rinnankytketyistä paneeleista toinen pystyy tuottamaan tehoa normaalisti.

Paneelia suojataan sisäänasennetuilla ohitusdiodeilla, jotka ohittavat osan aurinkokennoista. Diodit ohittavat kennosarjan esimerkiksi varjostus tilanteessa, jolloin estetään paneelin lämpenemistä. Koska kennoja ohitetaan niiden tehoa ei voida hyödyntää. (Hietalahti 2013, 70)

Koska järjestelmässä kulkevat virrat ovat pieniä, niiden mittaaminen tarkasti oli hankalaa. Ensimmäisellä mittauskerralla arvot katsottiin suoraan lataussäätimeltä mutta sen ilmoittamat arvot eivät pitäneet paikkaansa. Lataussäädin mittasi paneelilta tulevan virran ja jännitteen oikein mutta akuille lähtevä virta ei pitänyt paikkaansa. Tämä todettiin laskemalla tulevat ja lähtevät tehot, jolloin huomattiin että lähtevä teho saattoi olla jopa kaksinkertainen tulevaan verrattuna. Tämän jälkeen virrat mitattiin virtapihdin avulla, jolloin mittaustulokset vaikuttivat oikean suuruisilta. Mittaustulokset kuitenkin ovat todella lähellä toisiaan ja mittausten aikana luotettavia tuloksia oli vaikea saada. Lasketut hyötysuhteet ovat suuntaa antavia koska pienillä virroilla tapahtuu mittavirhettä ja 0,01 ampeerin heitto aiheittaa suuria muutoksia hyötysuhteeseen. Saatujen tulosten perusteella lataussäätimen hyötysuhde vaikuttaisi olevan 90 % luokkaa.

6.4 Paneelien toiminta kuormittaessa

Mittaukset suoritettiin samalla tavalla kuin akkujen latauksessa mutta akkujen jälkeen oleva invertteri otettiin käyttöön ja sen perään laitettiin kuorma. Paneelien lämpötilassa ei ollut suuria muutoksia tämänkään mittauksen aikana. Taulukoissa viisi ja kuusi on esitetty mittaustulokset.

TAULUKKO 5. Mittaustulokset valaisimien ollessa 60cm etäisyydellä paneeleista

U (V) paneeli	I (A) paneeli	P (W) paneeli	U (V) akku	I (A) akku	P (W) akku	hyötysuhde	varjostus (%)
29,12	0,19	5,5	23,61	0,23	5,4	0,98	0
29,1	0,11	3,2	23,61	0,13	3,1	0,96	25
24,7	0,1	2,5	23,6	0,1	2,4	0,96	50
25,5	0,09	2,3	23,6	0,1	2,4	1,03	75
23,7	0,09	2,1	23,6	0,09	2,1	1,00	100
23,7	0,04	0,9	23,6	0,05	1,2	1,24	25/25

TAULUKKO 6. Mittaustulokset valaisimien ollessa 85cm etäisyydellä paneeleista

U (V) paneeli	I (A) paneeli	P (W) paneeli	U (V) akku	I (A) akku	P (W) akku	hyötysuhde	varjostus (%)
29	0,26	7,5	23,65	0,31	7,3	0,97	0
27,55	0,14	3,9	23,64	0,16	3,8	0,98	25
24,85	0,13	3,2	23,63	0,14	3,3	1,02	50
23,76	0,12	2,9	23,62	0,13	3,1	1,08	75
23,76	0,12	2,9	23,62	0,13	3,1	1,08	100
24,3	0	0,0	23,6	0	0,0	0,00	25/25

Järjestelmän kuormittaminen ei vaikuta paneelien energian tuottoon. Paneelit käyttäytyvät samalla tavalla, kuin ladattaessa. Akkujen jännite tippuu hieman kun järjestelmää kuormitetaan ja koska paneeleilta ei saada tarpeeksi suurta tehoa, ei lataussäädin kykene lataamaan akkuja vaan energia käytetään suoraan hyödyksi.

6.5 Mittausten tulokset

Tyhjäkäyntijännitteen mittausten perusteella voidaan todeta, että säteilyn intensiteetti vaikuttaa paneelin toimintaan. Tässä tapauksessa valaisimien siirtäminen kauemmas paneeleista simuloi intensiteetin laskemista ja tällöin tyhjäkäyntijännite laskee. Paneelien varjostaminen laskee paneelille pääsevän säteilyn määrää ja myös tällöin tehon tuotto pienenee. Rinnakkain kytketyissä paneeleissa vaikutus havaitaan paremmin, kun molempia paneeleja varjostetaan samaan aikaan. Myös lämpötilan vaikutus tyhjäkäyntijännitteeseen havaittiin selkeästi mittausten perusteella.

Lataussäätimen toiminta selvisi mittausten aikana, vaikka virrat jäivätkin pieniksi. Säädin on suunniteltu kestäämään 45 A virtaa ja paneelien tehollinen virran tuotto rinnankytkettynä on 9,8 A. Jatkossa järjestelmään kannattaisi hankkia useampi valaisin tai käyttää vain yhtä paneelia mittauksia tehdessä. Lisäksi olisi hyvä hankkia säteilyn intensiteettiä mittaava pyranometri, jolloin voitaisiin tutkia myös paneelin hyötysuhdetta.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena Tampereen aikuiskoulutuskeskukselle suunniteltiin ja tilattiin aurinkoenergian tutkimiseen soveltuva järjestelmä. Opinnäytetyön kannalta on valitettavaa, että tilattua järjestelmää ei ehtinyt testaamaan vaikka Tampereen ammattikorkeakoululla olevalla järjestelmällä pystyi tutkimaan paneelien ominaisuuksia. Järjestelmän rakentamisen jälkeen voidaan kuitenkin tutkia paneelien ominaisuuksia sekä energian tuottoon vaikuttavia tekijöitä aidoissa olosuhteissa. Teoriaosuuden pohjalta järjestelmään on valittu soveltuvat anturit, joilla voidaan seurata paneelien toimintaan vaikuttavia sääilmiöitä.

Järjestelmää voidaan kehittää lisäämällä paneelien telineeseen laitteiston, joka pystyy seuraamaan auringon sijaintia ja samalla ohjaamaan paneeleita optimaaliseen kulmaan aurinkoon nähden. Mikäli paneelien määrää lisätään on myös mahdollista hankkia kolmivaiheinvertteri, jolloin kuormia voidaan jakaa tasaisemmin kaikille vaiheille eikä jakeluverkkoon aiheudu vääristymää.

LÄHTEET

Epia 9.4.2014. Global Market Outlook for photovoltaics 2013-2017
<http://www.epia.org/news/publications/>

Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. 2009. Momentti 2. Helsinki: Otava

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Amk-kustannus Oy
tammertekniikka

Paavola, M., 2012. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali
tampereella. Diplomityö

Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588

Energiateollisuus. Verkostosuositus mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon,
YA9:09. Päivitetty 15.7.2011. Luettu 12.3.2014.
<http://energia.fi/julkaisut/mikrotuotannon-liittaminen-sahkonjakeluverkkoon-ya909>

kipp & zonen. 8.4.2014. Tuoteluettelo.
<http://www.kippzonen.com/Product/14/CMP-21-Pyranometer#.U0Ogc1c6J7k>

Lorenzo, E. 1994. Solar electricity engineering of photovoltaic system
<http://books.google.fi/books?id=lYc53xZyxZQC&pg=PA78&hl=fi#v=onepage&q&f=false>

LIITTEET

Liite 1. Tarjouspyynnön tekniset vaatimukset

Hankinnan kohde

Sähköinen aurinkoenergiajärjestelmä, joka sisältää täydellisen toimituksen: kahdeksan aurinkopaneelia, sähköiset liitäntälaitteet, kaapelit, verkkoinvertterin, sähköiset suojalaitteet. Hankintaan ei sisälly asennustelineitä paneeleille, sillä paneelit asennetaan niille suunniteltuun kääntyvään ja pyörivään mastoon. Invertteri tullaan sijoittamaan sisätiloihin noin 50 metrin etäisyydelle paneelien asennuspaikasta. Laitteistoa tullaan käyttämään jatkuvassa voimantuotannossa ja opetuskäytössä.

Tekniset vaatimukset

Kokonaisteho _{pp} (arvio)	~ 2 kW
Paneelin maksimi koko	1700 x 1000 mm
Tuulikuorman keston minimi	715 Pa
Lumikuorman keston minimi	2150 Pa
Verkkoliitäntä	230 V/50 Hz/1~
Verkkoinvertteri	~ 2 kW

Lisäksi tarjoukseen pyydetään kuuluvaksi

Verkkoliitäntäinen valvontalaitteisto (esim. SMA WEBBOX)	1 kpl
Sääasema paneeleille: lämpötila, säteily, tuuli (esim. SMA SUNNY SENSORBOX)	1 kpl
Pyranometri (esim. SMA METEO STATION)	1 kpl
Rinnankäyttöön akkujärjestelmä ja laturi	1 kpl
Invertterillä tulee olla väyläyhteys KNX-järjestelmään	

Tarjoukseen tulee sisällyttää koulutus laitteiston käytöstä, 1 pv.